

Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung auf den Nordsee-Inseln Steuerung durch Vegetationsmonitoring

Pott, Richard

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 2005 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.73-92



J. Cramer Verlag, Braunschweig

Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung auf den Nordsee-Inseln Steuerung durch Vegetationsmonitoring^{*,1}

RICHARD POTT

Institut für Geobotanik der Universität Hannover
Nienburger Straße 17, D-30167 Hannover
e-mail: Pott@geobotanik.uni-hannover.de

Abstract

Im Spannungsfeld zwischen Grundwassernutzung, Naturschutz und Tourismus wurden umweltverträgliche Steuerungsmechanismen für die Wassergewinnung auf Norderney und Langeoog aufgrund vegetationskundlicher und hydrogeologischer Daten entwickelt. Norderney wurde als mehr städtisch geprägte Insel, Langeoog als Insel mit dörflichem Charakter ausgewählt. Praktikable und übertragbare Handlungsanweisungen für die Wassermeister auf den Inseln und die Naturschutzbehörden wurden erarbeitet. Es wird in diesem Vortrag gezeigt, dass Pflanzengesellschaften insbesondere in den Dünentälern als geeignete Bioindikatoren für die Erhaltung der Qualität und Quantität des Grundwassers Anwendung finden können.

Die Süßwasservorkommen der Inseln entstehen durch in Sand versickernde Niederschläge. Das Süßwasser schwimmt, bedingt durch dessen geringere Dichte, auf dem Salzwasser. Die Grenzfläche zwischen Süß- und Salzwasser sowie die Grundwasseroberfläche im Inselfand sind stabil und annähernd parabolisch geformt. Die süßen Grundwasservorkommen heißen deshalb Süßwasserlinsen. Diffusion und hydromechanische Dispersion steuern die so genannte Nimitzu-Strömung in der Grenzschicht. Norderney verfügt über eine zusammenhängende Süßwasserlinse mit einer Mächtigkeit von 85 m und einer Ausdehnung von etwa 5 km². Auf Langeoog ist hingegen die Süßwasserlinse in drei Segmente aufgeteilt.

* Vortrag gehalten am 10.06.2005 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

¹ Auszug als Vortrag einer Veröffentlichung von PETERSEN, J, R. POTT & O. RICHTER (2001): Dünentäler – Ein gefährdeter Lebensraum im Interessenkonflikt zwischen Naturschutz und Grundwasserbewirtschaftung, Zbl. Geol. Paläont., Teil I, Heft ½, 93-110, Stuttgart, Februar 2001.

Pflanzengesellschaften der Dünen (Xeroserie) und der Dünentäler (Hygroserie) wurden hinsichtlich Art, Ausdehnung, Bedeckungsgrad und Lage erfasst. Für die Grundwasser-Einzugsgebiete und von der Grundwassergewinnung unbeeinflusste Referenzgebiete wurden charakteristische Pflanzengesellschaften ausgewählt und Feuchteklassen ermittelt. Schwerpunktmäßig wurden Braunschlegensumpf (*Caricetum trinervi-nigrae*), Feuchtheide (*Empetro-Ericetum*), Krähenbeerenheide (*Hieracio-Empetretum*), Birkenwald, Trockenrasen und andere untersucht, Grundwasserstände gemessen sowie räumlich hoch aufgelöste Vegetationskarten angefertigt. Seit 1949 ist eine Zunahme der Feuchtheide festzustellen, allerdings hauptsächlich auf artenarme Vegetationstypen beschränkt. Für den Bereich der heutigen Grundwassergewinnung können nach dieser Bioindikation keine negativen Auswirkungen der intensiven Grundwasserförderung festgestellt werden. Gleichwohl gehören die feuchten Dünentäler zu den am meisten bedrohten Biototypen.

1. Einleitung

Im Nordseeküstenbereich sind das Wattenmeer und seine Inseln ein weltweit einmaliger Lebensraum und eines der letzten naturnahen Ökosysteme Mitteleuropas. Auf Grund ihrer naturräumlichen Sonderstellung galt den Inseln des Wattenmeeres schon seit jeher ein besonderes Interesse.

Dieses bezieht sich zum einen auf den Fremdenverkehr, denn diese noch weitgehend naturnahe Küstenlandschaft war und ist die Basis für den Tourismus, der gleichzeitig die wichtigste Erwerbsquelle für die Küstenbevölkerung darstellt. Die mit dem Tourismus verbundene Notwendigkeit der Wasserwirtschaft, Trinkwasser in jahreszeitlich unterschiedlicher Intensität bereitzustellen, bedingt jedoch eine unterschiedliche Beanspruchung der Ressource Grundwasser, so daß es bei übermäßiger Grundwasserentnahme zur Gefährdung des Ökosystems Dünen- und vor allem ihrer grundwasserabhängigen Vegetation kommt.

Zum anderen gehören die Ostfriesischen Wattenmeer-Inseln zum Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer. Aufgabe des Nationalparks ist es vor allem, der Erhaltung eines artenreichen Pflanzen- und Tierbestandes zu dienen und nur geringe anthropogene Beeinflussung zuzulassen. Um Beeinflussungen bewerten zu können, ist es wichtig, eine umfassende Kenntnis über das Vorkommen und den Zustand der grundwasserabhängigen Vegetation zu haben. Denn bei den Vegetationseinheiten der feuchten Dünentäler (= Hygroserie) handelt es sich um die am meisten bedrohten Pflanzengesellschaften der Küstenvegetation und dieser Lebensraum wird von „von der Vernichtung bedrohten oder stark gefährdeten“ Biotypen geprägt (s. POTT 1996, 2003, 2005).

Aus diesen Gründen ist im Jahr 1999 ein neues interdisziplinäres Forschungsprojekt mit dem Titel *„Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydro-geolo-*

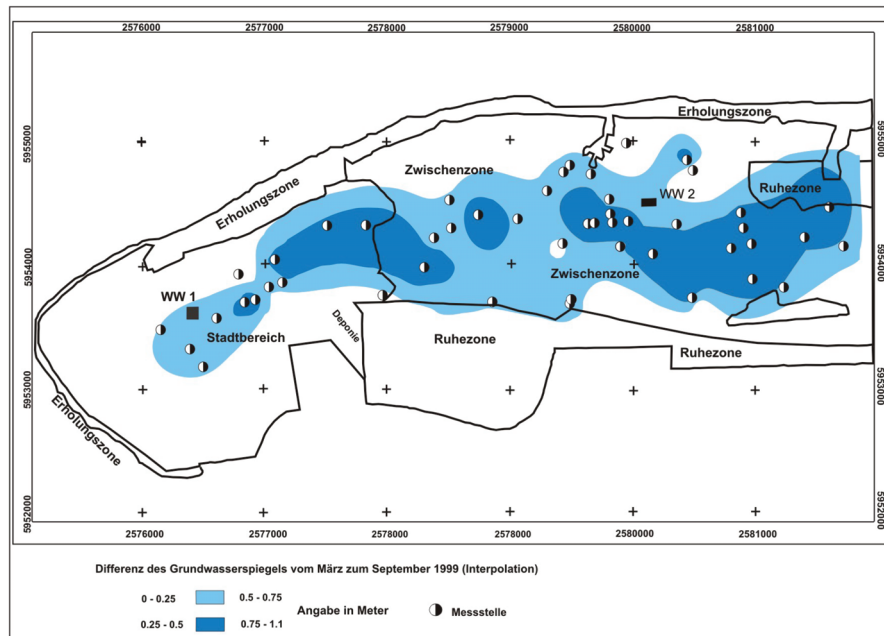


Abb. 1: Schutzzonen des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer, verschnitten mit einer Darstellung der Absenkung des Grundwasserspiegels von März bis September 1999. (Datengrundlage beruht auf einer Interpolation von Stichtagsmessungen der Stadtwerke Norderney).

gisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste“ gestartet. Projektpartner waren hierbei Hydrogeologen (Prof. Dr. Joachim Wolff, TU Braunschweig), Pflanzenökologen (Prof. Dr. Peter Janiesch, Univ. Oldenburg), Sozioökonomen (Prof. Dr. Georgios Magoulas, Univ. Hannover) und wir Geobotaniker von der Universität Hannover. Ziel war es, der Wasserwirtschaft eine Art „Wegweiser“ für ein umweltverträgliches Grundwassermanagement zu liefern.

2. Untersuchungsgebiet

Die sich verschärfende ökologische Problematik bei der Grundwasserbewirtschaftung im Spannungsfeld zwischen Naturschutz und Wassergewinnung und deren Auswirkungen kann auf den Ostfriesischen Inseln geradezu modellhaft untersucht werden: Mit dem städtisch geprägten **Norderney** und dem eher dörflich strukturierten **Langeoog** wurden zwei in ihrem Wirtschafts- und Bevölkerungsgefüge unterschiedliche Inseln als Untersuchungsraum ausgewählt (Abb. 1-3).



Abb. 2: Lage und Übersicht des Untersuchungsgebietes im niederländischen, deutschen und dänischen Wattenmeer.



Abb. 3: Dünenatal Bakenlegde auf Norderney. Im Vordergrund Braunseggensumpf (*Caricetum trinervi-nigrae*), *Salix arenaria*-Gebüsch und Birkenwald (*Betula pubescens*-Gesellschaft) im Hintergrund.

2.1 Arbeitsschritte und erste Ergebnisse

Strategien zur umweltverträglichen Grundwasserbewirtschaftung im Küstenbereich wurden im Rahmen dieses interdisziplinären Projektes erstmals erarbeitet. Unsere ersten Arbeitsschritte und die ersten Ergebnisse der Arbeitsgruppe Geobotanik lassen sich in vier Abschnitte gliedern:

2.2 Auswahl von „Indikator“-Vegetationseinheiten und Installation der Beobachtungsflächen in Verbindung mit Grundwasser-Meßpegeln

Für die Auswahl geeigneter Indikator-Vegetationseinheiten diente u.a. die Einschätzung des Feuchtegrades der Pflanzengesellschaften anhand der Ellenberg'schen Feuchtezahlen. Hierbei handelt es sich um empirisch erhobene Zeigerzahlen mit hohem Indikationswert, die im Laufe der Zeit durch Messungen verifiziert wurden. Nach Heinz ELLENBERG et al. (1992) ist die Feuchtezahl der am besten gesicherte Zeigerwert, dem zahlreiche Untersuchungen und Beobachtungen über Beziehungen zwischen Pflanzen und Grundwasserständen zu Grunde liegen, so daß eine relativ gute Abschätzung der Ansprüche der Pflanzengesellschaften möglich ist (s. Abb. 4).

In einem Sukzessionsschema der Dünenal-Vegetation von den Wattenmeer-Inseln werden solche Unterschiede verdeutlicht (s. Abb. 5). Neben dem Feuchte-

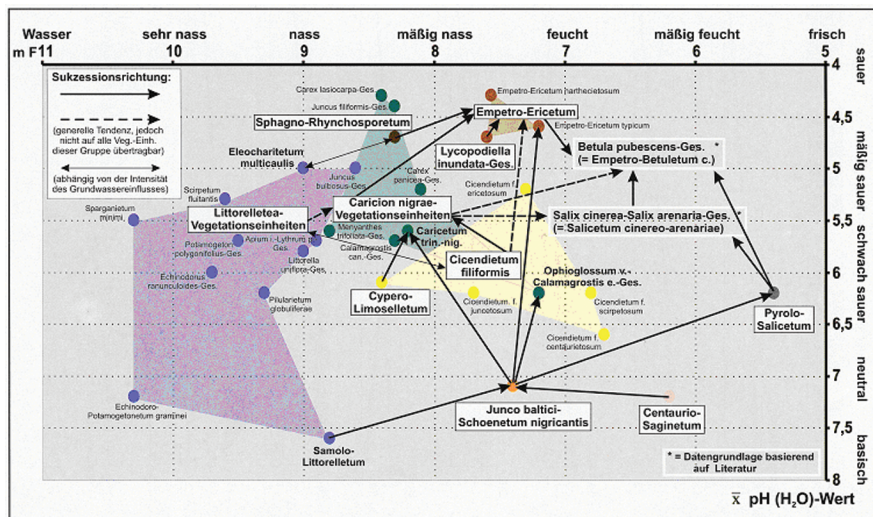


Abb. 4: Sukzessionsschema der Dünenal-Vegetation auf den Wattenmeer-Inseln.

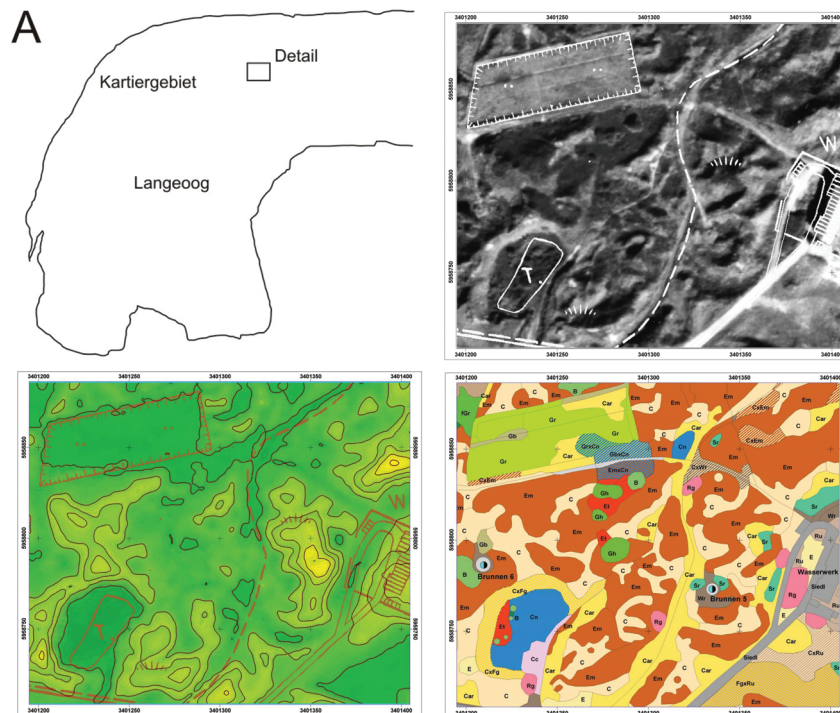


Abb. 5: Datengrundlagen und Ergebnisse der Vegetationskartierung des Grundwasser-Einzugsgebietes auf der Insel Langeoog (A: Übersicht des Kartierungsgebietes, B: Verschneidung von Deutscher Grundkarte mit Colour-Infrarot-Luftbild, C: Verschneidung von Deutscher Grundkarte mit Höhenmodell, D: Vegetationskarte im Detail).

grad ist die Bodenazidität ein weiterer entscheidender Faktor in diesem Standortgefüge. Diese Phänomene basieren auf der Datengrundlage von 719 Bodenproben aller 17 Wattenmeer-Inseln, von den Niederlanden bis nach Dänemark, sowie der Berechnung mittlerer Feuchtezahlen von insgesamt 2775 Vegetationsaufnahmen, welche Jörg PETERSEN in seiner Dissertation im Jahre 2000 erhoben hat. So wird in dem Ökogramm die natürliche Vegetationsentwicklung innerhalb der Hygroserie aufgezeigt (s. Abb. 4). Da grundsätzlich ein Großteil der Grundwasser-Einzugsgebiete der Nordseeinseln mit Dünen-Vegetation (Xeroserie = Pflanzengesellschaften der trockenen Dünen) bewachsen ist, werden neben den selteneren Pflanzengesellschaften der Dünetäler auch spezielle „Indikator“-Einheiten der trockenen Dünen ausgewählt.

Die zu untersuchenden Vegetationseinheiten wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Sie sollen charakteristisch für die Grundwasser-Einzugsgebiete sein.
- Sie sollen den Hauptanteil der Vegetation der Grundwasser-Einzugsgebiete bilden.
- Sie sollen sich in ihrer Abhängigkeit vom Grundwasser unterscheiden.
- Sie sollen sowohl im Grundwasser-Einzugsgebiet als auch in von der Grundwasser-Gewinnung unbeeinflussten Referenzgebieten der Inseln vorkommen.

Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Kriterien eignen sich insgesamt fünf Vegetationseinheiten, die auch den Schwerpunkt unserer Untersuchungen bilden:

1. Brauseggensumpf (*Caricetum trinervi-nigrae*)
2. Feuchtheide (*Empetro-Ericetum*)
3. Birkenwald (*Betula pubescens*-Gesellschaft)
4. Trockenheide (*Hieracio-Empetretum*)
5. Trockenrasen (Corynephorion-Gesellschaften, vor allem das *Violo-Corynephoretum*)

Auf den Wuchsgebieten dieser Pflanzengesellschaften der Inseln Norderney und Langeoog wurden insgesamt 47 Dauerbeobachtungsflächen mit Grundwasser-Meßpegeln installiert.

2.3 Erfassung des „status quo“ der Vegetation von Grundwasser-Einzugsgebieten der Wasserwerke Norderney und Langeoog sowie ein GIS-gestützter Vergleich mit älteren und historischen Vegetationskarten

Die Grundwasser-Einzugsgebiete auf den Inseln Norderney und Langeoog wurden pflanzensoziologisch im Maßstab 1:3.000 kartiert. Grundlage der Kartierungen war immer eine Erfassung der vorkommenden Pflanzengesellschaften durch Vegetationsaufnahmen. Um eine hochauflösende und damit genaue Wiedergabe aller Gebiete zu erreichen, wurden EDV-gestützte Darstellungs- und Auswertetechniken mit traditioneller Kartiertechnik verknüpft. Mittels des Einsatzes von GIS (ArcView) war es ferner möglich, verschiedene Datensätze miteinander zu verschneiden. Das sind folgende Parameter (s. Abb. 5):

- Digitale Grundkarte (1:3.000)
- Digitale Luftbilder: Schwarz-Weiß und Colour-Infrarot
- Hochauflösendes digitales Höhenmodell (Grundlage war eine Laserscann-Befliegung, die eine Auflösung von 1 m ermöglicht.)
- Digitalisierte Karten bisher vorliegender

Vegetationskartierungen (z.B. R. TÜXEN & NEUMANN 1949 und A. FROMKE 1996 für Langeoog).

Durch die Verbindung dieser digitalen Kartiervorlagen mit unseren Geländedaten konnten hochauflösende und genaue Vegetationskarten angefertigt werden (s. Abb. 6). Dieser Istzustand der Vegetation eines Grundwasser-Einzugsgebietes schafft somit eine aktuelle Grundlage für die genaue Lokalisierung und Differenzierung von grundwasserabhängiger und -unabhängiger Vegetation. So wird damit die Basis für ein „Wegweisersystem“ des umweltverträglichen Grundwassermanagements geschaffen und es entsteht in einer Verbindung mit den Dauerbeobachtungsflächen und den Grundwasser-Meßpegeln ein zukunftsorientiertes Monitoringsystem.

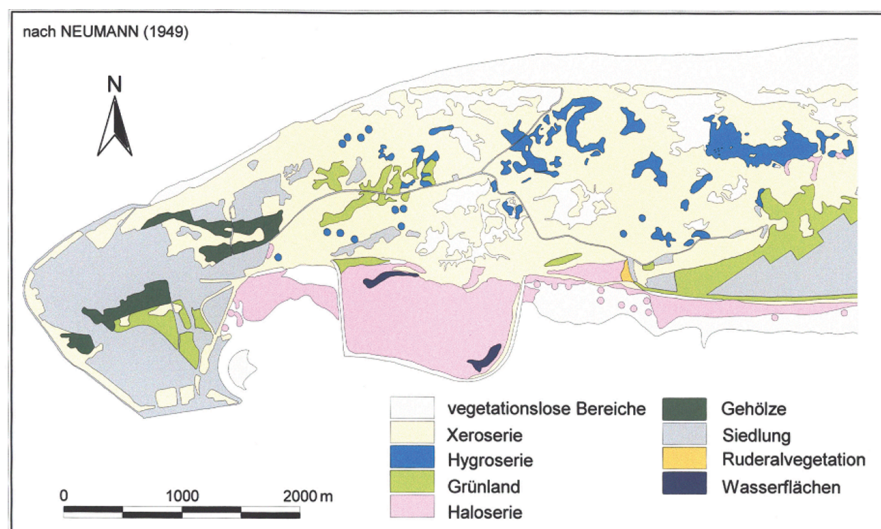
Bei der Interpretation von Vegetationsveränderungen war allerdings zu beachten, daß es sich in der Regel um natürliche Sukzessionen handelt, die durch Veränderungen der Standortbedingungen wie Versauerung, Entsalzung und Anreicherung an organischer Substanz verursacht werden (s. Abb. 4). Es ist aber auch zu berücksichtigen, daß anthropogene Einflüsse, beispielsweise Grundwasserabsenkungen durch intensive Grundwasserförderung, die natürlichen Sukzessionsprozesse verändern oder gar zum Verlust von Pflanzengesellschaften der feuchten Dünentäler und somit entsprechend zum Auftreten von Vegetationseinheiten der trockenen Dünen oder anderen Vegetationsbeständen führen können.

Bei der Interpretation der Genese des Istzustandes sind vor allem ältere bzw. historische Vegetationskarten hilfreich. Für die Insel Norderney liegen Vegetationskarten der Jahre 1949 von R. TÜXEN & NEUMANN sowie 1990 von C. HOBOHM (1993) und eine aktuelle Vegetationserfassung von Dirk HAHN (2005) vor. Diese Vegetationskarten wurden digitalisiert, georeferenziert, mittels GIS verschnitten und anhand der Daten wurde eine Flächenberechnung durchgeführt.

Bei der Interpretation der aktuellen und historischen Vegetationsdaten konnten ferner Angaben zur Gesamtförderung der Wasserwerke Norderney verwendet werden, die von A. MÜLLER & J. WOLFF (1998) erhoben worden sind. Die Stadtwerke Norderney GmbH fördern derzeit aus zwei Wasserwerken (Wasserwerke „Ort“ und „Weiße Düne“ bzw. Wasserwerke I und II) ca. 1 Million m³/a Grundwasser. Das Wasserwerk „Ort“ wurde Ende des 19. Jahrhunderts in Betrieb genommen. Die Förderung betrug Anfang des 20. Jahrhunderts 150.000 bis 300.000 m³/a, steigerte sich bis 1958 auf ca. 500.000 m³/a und wurde dann wieder auf 150.000 m³/a (1997) reduziert. Das Wasserwerk „Weiße Düne“ wurde im Jahr 1959 in Betrieb genommen und erreichte 1960 eine Förderung von knapp 300.000 m³/a. Problematisch für die Vegetation der feuchten Dünentäler war sicherlich die deutliche Steigerung auf ca. 800.000 m³/a Ende der siebziger Jahre. Leider liegen aus diesen interessanten Zeitabschnitten keine Vegetationskartierungen vor, um Veränderungen der Vegetation zu dokumentieren. Zu be-

denken ist hierbei, daß gerade in den Sommermonaten, also während der optimalen Vegetationsperiode, bis zu zwei Drittel der Gesamtförderung entnommen werden (s. R. NEUHAUS & J. PETERSEN 1999). Im Bereich des Wasserwerkes „Weiße Düne“ ergibt sich laut A. MÜLLER & J. WOLFF (1998) für die Jahre 1988 und 1991 sogar eine Grundwasserabsenkung von ca. 0,40 bis 1,40 m. Eine Absenkung dieser Größenordnung hatte mit großer Wahrscheinlichkeit negativen Einfluß auf die grundwasserabhängigen Pflanzengesellschaften der feuchten Dünentäler. Die intensiven Grundwasserförderungen des Wasserwerkes „Weiße Düne“ betreffen vor allem das nahegelegene Dünenal Bakenlegde. Von großer Bedeutung ist hierbei, daß einige Dünentäler im Bereich des Wasserwerkes „Weiße Düne“ in der Schutzzone I (= Ruhezone) des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer liegen und sich hier die empfindlichsten Landschaftsteile, Pflanzen- und Tierarten des Nationalparks, befinden (s. Abb. 1 und HELBING 1991, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer 1992, POTT. & PETERS 1999). Die Abbildung 1 verdeutlicht weiterhin, daß auch in diesem Gebiet deutliche Grundwasserabsenkungen vorliegen.

Der Vergleich der Vegetationskarten der Jahre 1949, 1990 und 2000 des Grundwasser-Einzugsgebietes zeigt, daß insgesamt jedoch die Ausdehnung der Vegetationseinheiten der Hygroserie zugenommen hat. Allerdings beschränkt sich die Zunahme zum einen auf das neue Zuwachsgebiet „Südstrandpolder“, wo sich Salzwiesenbereiche zu Feuchtbiotopen entwickelt haben (s. Abb. 6) und zum anderen hauptsächlich auf artenarme, auf den Inseln allgemein verbreitete Vegetationstypen.



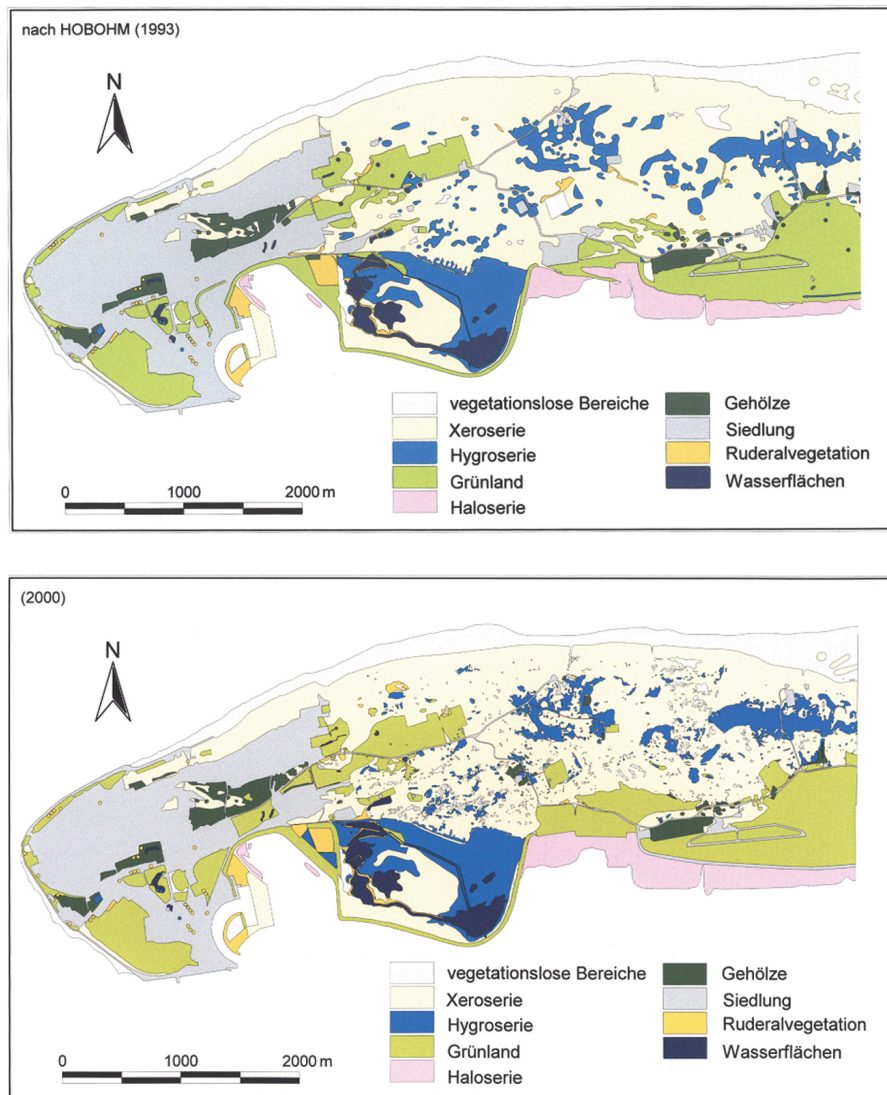


Abb. 6: Vegetationskarten der Insel Norderney von 1949 (TÜXEN & NEUMANN), 1990 (HOBOM 1993) und 2005 (HAHN).

Eine detaillierte Analyse aller vorkommenden Pflanzengesellschaften der Hygroserie verdeutlicht ferner, daß die lokale Zunahme auf Norderney zum größten Teil auf Ausbreitung des *Scirpo-Phragmitetum* (Röhricht), der *Betula*

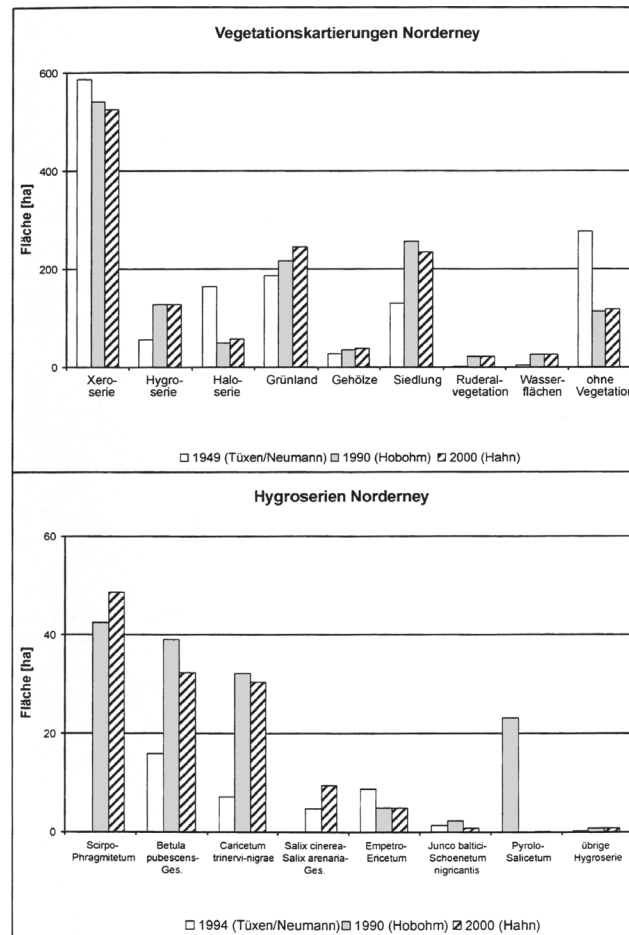


Abb. 7: Flächenanteile sämtlicher Biotoptypen und der Hygroserie im Detail der Vegetationskarten von Norderney (s. Abb. 5) aus den Jahren 1949 (TÜXEN & NEUMANN), 1990 (HOB OHM 1993) und 2000 (HAHN).

pubescens-Gesellschaft (Birkenwald), des *Caricetum trinervi-nigrae* (Braunseggenumpf) und der *Salix cinerea-Salix repens*-Gesellschaft (Weiden-Gebüsch) zurückzuführen ist (s. Abb. 7). Da die Bestände des *Scirpo-Phragmitetum* und der *Salix cinerea-Salix repens*-Gesellschaft jedoch nahezu ausschließlich auf dem „Südstrandpolder“ vorkommen und dieser Bereich weitestgehend außerhalb des Grundwasser-Einzugsgebietes liegt (s. Abb. 1), sind sie für diesen Vergleich verhältnismäßig bedeutungslos. Die Zunahme des Braunseggenumpfes

und vor allem des Birkenwaldes läßt sich aber auch durch die natürliche Sukzession in feuchten Dünentälern erklären, wobei der Birkenwald innerhalb der Sukzessionsreihe der Hygroserie eindeutig als Schlußgesellschaft zu bewerten ist (s. Abb. 4 u. 6, POTT 1995, PETERSEN 2000). Am Beispiel des Grundwasser-Einzugsgebietes und vor allem der Bakenlegde deutet sich an, daß konkurrenzstarke, artenarme Birkenwälder durch Grundwasserabsenkungen sogar gefördert worden sind. Von Bedeutung hierbei ist, daß die Birke dort, wo sie einmal Fuß gefaßt hat, die Standortverhältnisse zu ihren Gunsten verändert. Denn sie entzieht dem Boden verhältnismäßig viel Grundwasser und verschafft sich dadurch sukzessive einen Konkurrenzvorteil gegenüber den Nässe und Feuchtigkeit bevorzugenden Arten und entsprechenden Pflanzengesellschaften der Hygroserie. Für die Ausbreitung des Birken-Buschwaldes haben sich wahrscheinlich auch partielle Birkenpflanzungen fördernd ausgewirkt (vgl. HOBOHM 1993, PETERS & POTT 1999).

3. Erste Grundwasser-Schwellenwerte der ausgewählten Vegetationseinheiten

Das hydrologische System der Süßwasserlinsen auf den Nordseeinseln und das Vorkommen von Pflanzengesellschaften der feuchten Dünentäler stehen in direkter Abhängigkeit. Für das Verständnis dieser oft komplizierten Sukzessionsbedingungen in Dünentälern ist die Berücksichtigung von Grundwasserstandsschwankungen von großer Bedeutung. Änderungen des Grundwasserstandes können auch bei Ausbreitung oder Zurückweichen der Küstenlinie an seeseitigen Inselabschnitten auftreten. Infolge der Bildung neuer Dünenreihen kann es zum Anstieg des Grundwasserstandes in den Dünentälern und damit zur Versumpfung kommen. Kurzfristige Schwankungen beispielsweise durch ergiebige Niederschläge haben hierbei einen geringeren Einfluß als die jahreszeitlichen Schwankungen.

Grundwasserabsenkungen wie sie bei der Förderung von Trinkwasser zwangsläufig entstehen, müssen deshalb in einem kontrollierten Toleranzbereich gehalten werden, gerade wenn sie Feuchtgebiete von Naturschutzgebieten bzw. Nationalparks betreffen. Zur Regelung dieser Eingriffe in Dünen und Dünentallandschaften sollen aus diesen Gründen vegetationspezifische Grundwasser-Kenndaten als eine Art Frühwarnsystem entwickelt werden. Wichtige Eckdaten für die Charakterisierung der Grundwasserabhängigkeit verschiedener Pflanzengesellschaften sind (s. Abb. 8):

- Der absolute Minimumwert bzw. der extreme Tiefstand während und nach einer Trockenperiode
- Der absolute Maximumwert bzw. der extreme Hochstand während und nach einer Feuchtperiode in Kombination mit der Dauer der Überflutung [Monate]

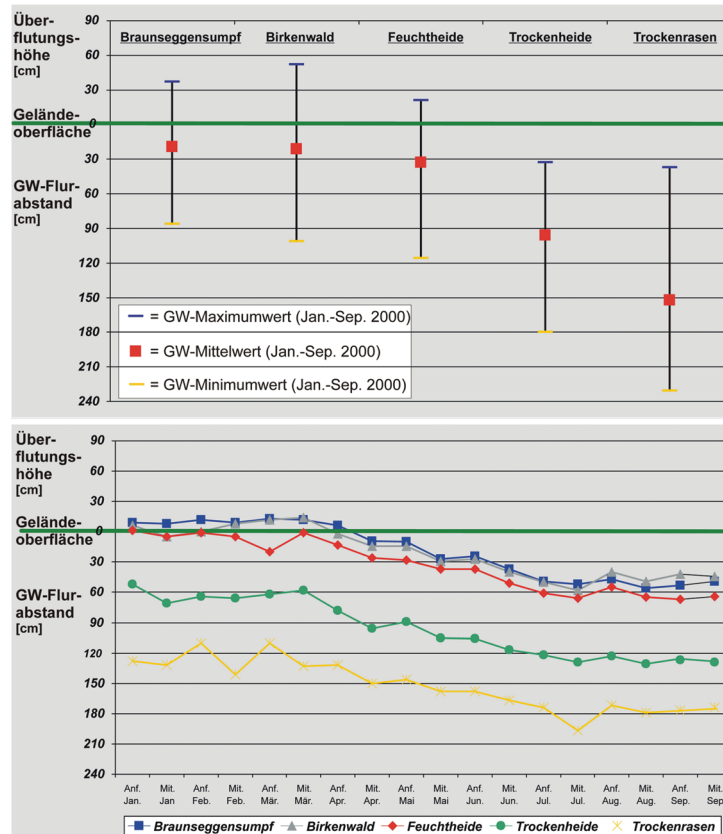


Abb. 8: Erste Grundwasser-Schwellenwerte und -Ganglinien charakteristischer Vegetationseinheiten der Dünen und Dünentäler auf den Wattenmeer-Inseln.

- Ein „repräsentativer“ mittlerer Grundwasserstand
- Eine „repräsentative“ mittlere Grundwasser-Ganglinie.

Ähnliche Angaben finden sich in TÜXEN (1954), NIEMANN (1963, 1973), KLÖTZLI (1969), GROOTJANS et al. (1991), DVWK(1996) und LAMMERTS (1999).

Der in Abb. 8 dargestellten ersten Ergebnisse liegen die Meßdaten von 38 Grundwasser-Meßpegeln zugrunde. Die Installation der Meßpegel war Ende 1999 abgeschlossen, so daß Grundwasser-Meßdaten ab Januar 2000 vorliegen. Ihre Datenerhebung erfolgt jeweils am Anfang und in der Mitte eines Monats. Zusätzlich sollen die jahrelangen Meßdaten der jeweiligen Wasserwerke ausgewertet werden. Der Minimumwert des Grundwasserstandes ist für die Charak-

terisierung eines Vegetationstypes von großer Bedeutung, jedoch kein erstrebenswerter Richtwert für das umweltverträgliche Grundwassermanagement. Für den Maximumwert ist in erster Linie die Dauer der Überflutung wichtig, weniger der absolute Wert. Dieser ist allerdings ein Schlüsselfaktor der Vegetationszusammensetzung, also eine Wuchsvoraussetzung der jeweiligen Pflanzengesellschaft. Der mittlere Grundwasserstand bzw. ein Schwankungsbereich um diesen Wert ist als Kontrollwert der Grundwasserförderung anzustreben, wobei die charakteristischen mittleren Grundwasser-Ganglinien zu berücksichtigen sind.

Abbildung 8 zeigt die ersten Ergebnisse zur Bestimmung der Grundwasser-Schwellenwerte der fünf ausgewählten Vegetationseinheiten. Auffallend ist dabei die deutliche Differenzierung der Grundwasser-Eckdaten zwischen Pflanzengesellschaften der Dünen und Dünentäler. Während sich die Vegetationseinheiten der Hygroserie nur gering unterscheiden, liegt innerhalb der Xeroserie für die Trockenheide (*Hieracio-Empetretum*) und den Trockenrasen (u.a. *Violo-Corynephorum*) eine stärkere Abstufung vor. Für den Braunseggensumpf (*Caricetum trinervi-nigrae*), den Birkenwald (*Betula pubescens*-Gesellschaft) und die Feuchtheide (*Empetro-Ericetum*) ergibt sich eine maximale Überflutungshöhe im Bereich zwischen 20 und 50 cm. Entscheidend ist hierbei weniger die Überflutungshöhe, sondern vielmehr die anhaltende Überflutungsdauer. Der Minimumwert dieser Vegetationseinheiten schwankt um einen Grundwasserflurabstand von ca. 90 cm (86 bis 116 cm). Für solche Pflanzengesellschaften lässt sich also eine Amplitude der Grundwasserstände von > 0 bis 90 cm Flurabstand aufführen. Der mittlere Grundwasserflurabstand liegt für alle drei Pflanzengesellschaften bei ca. 30 cm. Angaben zur Überflutungsdauer können auf Grund der bisher vorliegenden Daten (Jan.-Sep. 2000) noch nicht vorgenommen werden. Um eine feinere Differenzierung der Pflanzengesellschaften der feuchten Dünentäler zu erlangen, kann aber eine Unterteilung in eine feuchte und trockene Ausbildung der jeweiligen Vegetationseinheiten erfolgen. Vom DVWK (1996) wird eine Klassifizierung überwiegend grundwasserbeeinflusster Vegetationstypen für den Festlandsbereich angegeben. Hier liegen durchaus vergleichbare Werte vor, d.h. für diese drei Pflanzengesellschaften der Hygroserie werden ein Maximumwert > 0 und ein Minimumwert mit Grundwasserflurabständen im Bereich von 60 bis 100 cm aufgeführt. Es wird jedoch kein mittlerer Grundwasserstand angegeben, sondern nur ein mittlerer Schwankungsbereich. Dieses Phänomen wird mit dem vorliegenden sehr heterogenen Datenmaterial begründet, wobei sich nach Angaben des DVWK (1996) der mittlere Grundwasserstand innerhalb dieses Bereiches befinden soll. Für eine Analyse der charakteristischen Grundwasserdaten von Pflanzengesellschaften muß natürlich der jahreszeitliche Grundwasserstandsverlauf ermittelt werden, der in Form so genannter Grundwasser-Ganglinien dargestellt wird (s. Abb. 8). Nur die Kombination dieser Eckwerte ermöglicht es, durch Auswertung von zumindest mehrjährigen Meßreihen sowohl naturschutz- als auch praxisrelevante Aussagen über ein entsprechendes Indikatorsystem zu entwickeln. Deshalb müssen

die aufgeführten, nur auf einer Meßperiode beruhenden Grundwasser-Ergebnisse zunächst als vorläufig bewertet werden. Die Jahresamplituden der Wasserstände können in Abhängigkeit des jährlich wechselnden Witterungsverlaufes stark schwanken und müssen deshalb berücksichtigt werden. Feuchte Jahre bzw. feuchte Sommer zeigen sich an reduzierten Grundwasser-Schwankungsamplituden und hohen, lang andauernden Überflutungen. Entscheidender jedoch sind die trockenen Jahre bzw. entsprechende Sommer mit z.T. für die Vegetation kaum mehr verträglichen Grundwasser-Tiefständen. Deshalb sollten Meßreihen zumindest ein feuchtes, ein trockenes und wenn möglich noch ein weiteres Jahr mit mittlerer Witterung enthalten (s. van der LAAN 1979). Die bisherigen Witterungsdaten ergaben für das Jahr 2000 ein mittleres Jahr, so daß die Aussagekraft der aufgeführten Daten sich langfristig wahrscheinlich bestätigen wird.

4. „Ausblick“ — Modellierung der Vegetationsentwicklung in feuchten Dünentälern am Beispiel der Insel Norderney

Für das Dünenal Bakenlegde auf Norderney, das sich im zentralen Bereich des Trinkwassergewinnungsgebietes vom Wasserwerk „Weiße Düne“ befindet, wurde ein räumliches Vegetationsmodell entwickelt, das die Auswirkungen zukünftiger Grundwasserbewirtschaftung auf die Vegetationsdynamik abschätzen soll.

Als Vorbemerkung ist anzuführen, daß die Defizite klassischer ökologischer Modelle zumeist in dem nicht expliziten Raumbezug bestehen (s. O. RICHTER et al. 1997). Um dieses Problem zu umgehen, werden verstärkt rasterbasierte Ansätze zur Simulation der räumlichen und zeitlichen Dynamik von Ökosystemen angewandt. Rasterbasierte Modelle ermöglichen ferner die Abbildung natürlicher Prozesse durch Interaktionen einer endlichen Anzahl von Rasterzellen. Einen Ansatz zur expliziten räumlichen Simulation bieten Zelluläre Automaten. H. BALTZER et al. (1998) geben eine Übersicht über die Verwendung von Zellulären Automaten im Bereich Ökologie, Biologie und Umwelt, die nach J. WEIMAR (1998) aus folgenden vier Komponenten bestehen:

- Ein Gitter aus endlich vielen Rasterzellen
- Eine endliche Zustandsmenge zur Charakterisierung der Zellen
- Eine Nachbarschaft begrenzter Reichweite
- Ein Regelsystem, das die Veränderung der Zellzustände festlegt.

Für die Simulation der Vegetationsentwicklung in feuchten Dünentälern wird ein Gitter aus quadratischen Rasterzellen verwendet. Jeder Zelle wird ein Zustandsvektor zugeordnet, der die Vegetationseinheit und die fünf Standortfaktoren Bodenfeuchte, Bodenazidität, organische Substanz, Salinität und anthroppoogene Beeinträchtigung enthält (s. Abb. 9). Die räumliche Ausbreitung

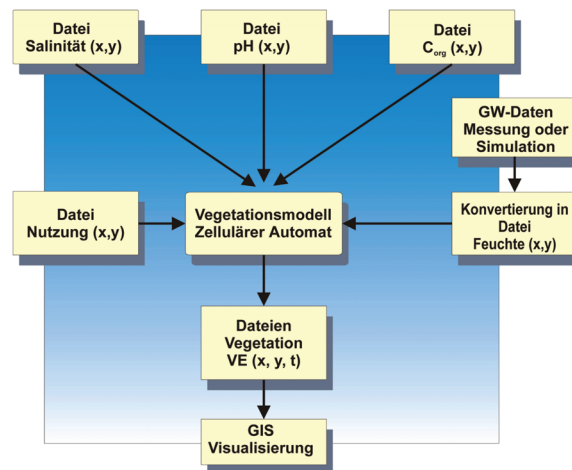


Abb. 9: Darstellung der Grundlagen des Vegetationsmodells – eine Verknüpfung mit den Standortfaktoren Bodenfeuchte, Bodenazidität, organische Substanz, Salinität und anthropozoogene Beeinträchtigung.

und Interaktion der Vegetationseinheiten wird über ein probabilistisches Regelsystem an die Dateien der Standortfaktoren gekoppelt. Die Informationen über die Zusammenhänge zwischen den Standortfaktoren und den Vegetationseinheiten stammen zum größten Teil aus J. PETERSEN (2000). Daten zur Empfindlichkeit der Vegetationseinheiten gegenüber Veränderungen der Standortfaktoren gehen auf die gleiche Quelle zurück. Mit den Angaben zur Empfindlichkeit wird beschrieben, welche Umweltbedingungen von den Vegetationseinheiten toleriert werden können.

Die Berechnung der Besiedlungswahrscheinlichkeiten der Standorte durch die Vegetationseinheiten berücksichtigt die Standortfaktoren, das Auftreten der Vegetationseinheiten in der direkten Nachbarschaft und das Ausbreitungspotential über größere Entfernungen. Die möglichen Sukzessionschritte sind dem Sukzessionsschema von PETERSEN (2000) entnommen (s. Abb. 4).

Das Modell ist in der Lage, Neubesiedlungen einer Dünentallandschaft zu simulieren. Durch noch laufende Sensitivitätsanalysen und Validierungen soll versucht werden, die Systemparameter optimal einzustellen. Das Ziel ist es, durch das Vegetationsmodell die Auswirkungen von Änderungen des Grundwasserhaushalts auf die Vegetationsentwicklung in feuchten Dünentälern noch genauer zu prognostizieren. Durch die Kopplung des Vegetationsmodells an Geographische Informationssysteme (z.B. ArcView) kann eine effektive Visualisierung der Simulationsergebnisse erfolgen (s. Abb. 9), die beispielsweise Ent-

scheidungsträgern in Wasserwirtschaft und Naturschutz die Auswirkungen von Maßnahmen vor Augen führt und zur besseren Kommunikation zwischen den Ressorts und ggf. der interessierten Öffentlichkeit beitragen kann. Wir haben es inzwischen auf alle Ostfriesischen Inseln ausgedehnt (PETERSEN & POTT, 2005)

5. Zusammenfassung

In diesem Vortrag werden sowohl Arbeitsschritte als auch erste Ergebnisse von Untersuchungen der Arbeitsgruppe Geobotanik vorgestellt, die im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes mit dem Titel *„Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste“* erarbeitet wurden. Die unterschiedlichen Vorstellungen der Wasserwirtschaft und des Naturschutzes führen schon lange zu Zielkonflikten, die eine Gefährdung der Feuchtbiootope zur Folge haben können. Pflanzengesellschaften der feuchten Dünentäler sind stark grundwasserabhängig und können deshalb Grundwasserschwankungen nur in einem gewissen Toleranzbereich schadlos überstehen. Ziel unserer Untersuchungen war es daher, eine praktikable Konzeption für eine dauerhaft umweltschonende Grundwasserbewirtschaftung am Beispiel der verstärkten Insel Norderney und der dörflichen Insel Langeoog im Nationalpark Wattenmeer zu erarbeiten. Hierzu wurden kritische Schwellenwerte bzw. Toleranzbereiche wie untere und obere Begrenzungen sowie Optimalbereiche („critical levels“) des Grundwasserstandes für die charakteristischen Vegetationseinheiten der Naturschutzgebiete und ihrer Randbereiche ermittelt. Zusätzlich wurde ein Verfahren zur computertechnischen Visualisierung von Vegetationsentwicklungen erarbeitet.

Summary

In this lecture material, methods and preliminary results are presented, which were obtained within the framework of an interdisciplinary research project entitled „Sustainable groundwater management in hydrogeological and ecological sensitive areas of the North Sea Coast“. For years different and contrary concepts of the water supply and distribution authorities and the nature conservation led to conflict situations which could result in the endangering of wet biotopes above all. These plant communities of the wet dune slacks are strongly related to the groundwater table, hence, they can tolerate fluctuations only in a certain range without damage. Therefore, the main goal of the project was to develop a useful guide for a sustainable groundwater management. Within the project detailed investigations were carried out on the islands of Norderney and Langeoog in the Nationalpark Wattenmeer. Using a variety of scientific methods (phytosociology, groundwater-monitoring, GIS mapping, cellular

automata model) it was possible to construct a comprehensive picture of threshold values or ranges of tolerance describing e.g. the lower and upper delimitations as well as critical levels of the groundwater table tolerable for the characteristic vegetation units of the conservation areas and the adjacent landscapes.

Verwendete und zitierte Literatur

- BALTZER, H., BRAUN, P. & KÖHLER, W. (1998): Cellular automata models for vegetation dynamics. – *Ecological Modelling* **107**: 113–125.
- BUCHWALD, K. (1990): Nordsee – ein Lebensraum ohne Zukunft? – 552 S., Göttingen.
- DIERSSEN, K. (1988): Rote Liste der Pflanzengesellschaften Schleswig-Holsteins. – Schriftenreihe Landesamt für Naturschutz und Landschaftspflege Schleswig-Holstein **6**: 157 S., Kiel.
- DRACHENFELS, O. von (1996): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen in Niedersachsen. – Naturschutz Landschaftspfl. Niedersachsen, **34**: 148 S., Hannover.
- DVWK (1996): Klassifikation überwiegend grundwasser-beeinflußter Vegetationstypen. – Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) **112**: 492 S., Bonn.
- ELLENBERG, H., WEBER, H., DOLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. & FAULISSEN, D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – *Scripta Geobotanica* **18**: 258 S., Göttingen.
- FAHSOLD, A. (1960): Rhythmus des Grundwassers auf den Ostfriesischen Inseln. – *Gas- und Wasserfachmann* **101** (2): 26–33, Bremen.
- FROMKE, A. (1996): Vergleichende geobotanische Untersuchungen der Ostfriesischen Inseln Baltrum und Langeoog im Nationalpark „Niedersächsisches Wattenmeer“ – 229 S., Diss. Univ. Hannover.
- GROOTJANS, A., HARTOG, P., FRESCO, L. & ESSELINK, H. (1991): Succession and fluctuation in a wet dune slack in relation to hydrological changes. – *J. of Vegetation Science* **2**: 545–554, Groningen.
- GROOTJANS, A., LAMMERTS, E. & BEUSEKOM, C. VAN (1995): Kalkrijke duinvalleien op de Waddeneilanden. — KNNV: 175 S., Utrecht.
- HAHN, D. (2005) Neophyten der Ostfriesischen Inseln. Verbreitung, Ökologie, Vergesellschaftung. Diss. Inst. f. Geobotanik, Univ. Hannover
- HELBING, C. D. (1991): Zwischen Land und See. – Nationalpark 2/91, 4 S., Wilhelmshaven.
- HOBOHM, C. (1993): Die Pflanzengesellschaften von Norderney. Arbeiten aus der Forschungsstelle Küste 12. – Niedersächsisches Landesamt für Ökologie: 202 S.

- HOFMANN, K. (2000): Standortsökologie und Vergesellschaftung der *Utricularia*-Arten Nordwestdeutschland. – 130 S., Diss. Univ. Hannover.
- KLÖTZLI, F. (1969): Die Grundwasserbeziehungen der Streu- und Moorwiesen im nördlichen Schweizer Mittelland. – Beitrag zur Geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz: **52**, 296 S., Bern.
- LAMMERTS, E. (1999): Basiphilous pioneer vegetation in dune slacks on the Dutch Wadden Sea islands. – Proefschrift: 160 S., Groningen.
- LAAN, D. van der (1979): Spatial and temporal variation in the vegetation of dune slacks in relation to the ground water regime. – *Vegetation* 39, **1**: 43–51, Oostvoorne.
- MÜLLER, A., MÜLLER, H. & VRIES, D. de (1997): Eine schonende Bewirtschaftung der Süßwasserlinsen auf den ostfriesischen Inseln am Beispiel der Insel Norderney. – *Zbl. Geol. Paläont. Teil 1*, (1/2): 111–124, Stuttgart.
- MÜLLER, H. & WOLFF, J. (1998): Ermittlung einer schonenden Bewirtschaftung der Süßwasserlinsen auf den Ostfriesischen Inseln am Beispiel der Insel Norderney. – 135 S., unveröffentlichter Endbericht, TU Braunschweig.
- NATIONALPARKVERWALTUNG NIEDERSÄCHSISCHES WATTENMEER (1992, Hrsg.): Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer. – 52 S., Wilhelmshaven.
- NEUHAUS, R. & PETERSEN, J. (1999): Dunes. – In: JONG, F. DE, BAKKER, J., BERKEL, C. van, DANKERS, N., DAHL, K., GÄTJE, C., MARENCIC, H. & POTEL, P. (Hrsg.): Wadden Sea Quality Status Report. Wadden Sea Ecosystem No. 9. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group: 53–56, Wilhelmshaven.
- NIEMANN, E. (1963): Beziehungen zwischen Vegetation und Grundwasser. Ein Beitrag zur Präzisierung des ökologischen Zeigerwertes von Pflanzen und Pflanzengesellschaften. – *Archiv f. Naturschutz u. Landschaftsforsch.*, B 3, H 1: 3–36, Berlin.
- NIEMANN, E. (1973): Grundwasser und Vegetationsgefüge. – *Nova Acta Leopoldina* 6, 38: 172 S., Leipzig.
- NORDHEIM, H. von, NORDEN ANDERSEN, O. & THISSEN, J. (1996): Red Lists of Biotopes, Flora and Fauna of the Trilateral Wadden Sea Area, 1995. – *Helgoländer Meeresuntersuchungen* **50** (Suppl.): 136 S., Hamburg.
- PETERS, M. & POTT, R. (1999): Natur & Tourismus auf Norderney. – *Abh. Westf. Museum f. Naturkde* 61, 174 S., Münster.
- PETERSEN, J. (2000): Die Dünenalvegetation der Wattenmeer-Inseln in der südlichen Nordsee. Eine pflanzensoziologische und ökologische Vergleichsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzung und Naturschutz. – 336 S., Husum.
- PETERSEN, J., POTT, R. & O. RICHTER (2001): Dünentäler – Ein gefährdeter Lebensraum im Interessenkonflikt zwischen Naturschutz und Grundwasserbewirtschaftung. *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, Heft **1/2**, 93–110. Stuttgart.

- PETERSEN J. & R. POTT (2005): Ostfriesische Inseln: Landschaft und Vegetation im Wandel. Text- und Kartenband 160 S., Schlütersche, Hannover
- POTT, R. (1995): Farbatlas Nordseeküste und Nordseeinseln. – 288 S., Stuttgart.
- POTT, R. (1996): Biotoptypen – Schützenswerte Lebensräume Deutschlands und angrenzender Regionen. – 448 S., Stuttgart.
- POTT, R. (2003): Die Nordsee – Eine Natur- und Kulturgeschichte, 351 S., Verlag C.H. Beck, München
- POTT, R. (2005): Allgemeine Geobotanik – Biogeosysteme und Biodiversität. 652 S. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- RICHTER, O., SÖNDGERATH, D., BELDE, M., SCHWARTZ S. & SCHRÖDER, B. (1997): Kopplung geographischer Informationssysteme (GIS) mit ökologischen Modellen für das Naturschutzmanagement. – In: KRATZ, R. & SUHLING, F. (Hrsg.): GIS im Naturschutz – Forschung, Planung, Praxis. Verlag Westarp Wissenschaften: 5–29, Magdeburg.
- STREIF, H. (1987): Geologie unseres Küstenraumes. – Wilhelmshavener Tage 1: 5–12.
- STREIF, H. (1990): Das Ostfriesische Küstengebiet. Nordsee, Inseln, Watten und Marschen. – Samml. Geol. Führer 57: 376 S., Berlin, Stuttgart.
- TÜXEN, R. (1954): Pflanzengesellschaften und Grundwasser-Ganglinien. – Angew. Pflanzensoz. 8: 64–98, Stolzenau.
- WEIMAR, J. (1998): Simulation with cellular automata. – Logos-Verlag. Berlin
- WESTHOFF, V. (1991): Die Küstenvegetation der Westfriesischen Inseln. – Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 3: 269–290, Hannover.
- WESTHOFF, V., HOBOM, C. & SCHAMINÉE, J. (1993): Rote Liste der Pflanzengesellschaften des Naturraumes Wattenmeer unter Berücksichtigung der ungefährdeten Vegetationseinheiten. – Tuexenia 13: 109–140, Göttingen.